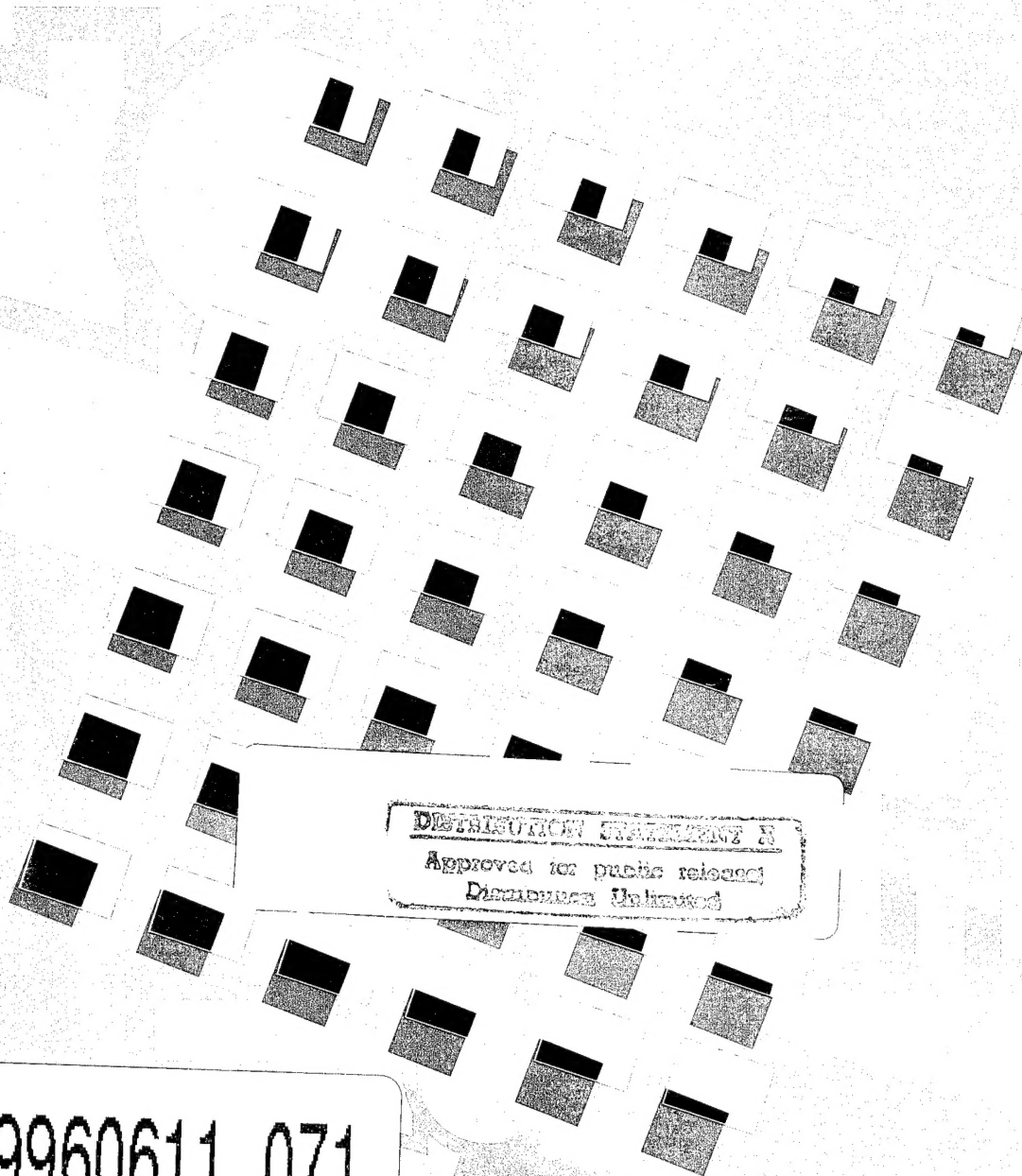


TNO-rapport  
TNO-TM 1995 A-71

TNO Technische Menskunde

titel

**Scheepsbewegingen en "Motion Sickness  
Incidence" (MSI): Voorspellingen van het  
percentage bewegingszieken op basis van  
verticale bewegingen**



DISTRIBUTION STATEMENT 1  
Approved for public release  
Distribution Unlimited

19960611 071



TNO-rapport  
TNO-TM 1995 A-71

TNO Technische Menskunde

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

Telefoon 03463 56211  
Fax 03463 53977

titel

**Scheepsbewegingen en "Motion Sickness Incidence" (MSI): Voorspellingen van het percentage bewegingszieken op basis van verticale bewegingen**

auteur

J.E. Bos

datum

28 november 1995

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1995 TNO

aantal pagina's

: 18

(incl. bijlagen,  
excl. distributielijst)

**DISTRIBUTION STATEMENT A**

**Approved for public release  
Distribution Unlimited**

**TNO QUALITY INSPECTED**



# REPORT DOCUMENTATION PAGE

|  |   |  |
|--|---|--|
| 1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL)<br>TD 95-1489  | 2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER           | 3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER<br>TNO-TM 1995 A-71 |
| 4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.<br>789.3   | 5. CONTRACT NUMBER<br>A95/KM/358          | 6. REPORT DATE<br>28 November 1995                           |
| 7. NUMBER OF PAGES<br>18   | 8. NUMBER OF REFERENCES<br>11             | 9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED<br>Interim               |
| 10. TITLE AND SUBTITLE<br><br>Scheepsbewegingen en "Motion Sickness Incidence" (MSI): Voorspellingen van het percentage bewegingszieken op basis van verticale bewegingen (Ship motions and "Motion Sickness Incidence" (MSI): Estimations of the percentage sick people based on vertical motion)   |   |  |
| 11. AUTHOR(S)<br><br>J.E. Bos  |   |  |
| 12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)<br><br>TNO Human Factors Research Institute<br>Kampweg 5<br>3769 DE SOESTERBERG  |   |  |
| 13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)<br><br>Director of Navy Research and Development<br>P.O. Box 20702<br>2500 ES DEN HAAG  |   |  |
| 14. SUPPLEMENTARY NOTES  |   |  |
| 15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)<br><br>Ship motions can induce seasickness. Especially the vertical movements with frequencies below 1 Hz are very provocative. This report gives a summary and a description of a computer-implementation of a model formulated by McCauley et al. (1976), and a model by Griffin (1990), to predict the percentage of sick people given a motion time history. |   |  |
| 16. DESCRIPTORS<br><br>Acceleration<br>Coriolis Accelerations<br>Mathematical Models<br>Motion Sickness<br>Ship Design<br>Vestibular Perception  |   | IDENTIFIERS  |
| 17a. SECURITY CLASSIFICATION<br>(OF REPORT)  | 17b. SECURITY CLASSIFICATION<br>(OF PAGE) | 17c. SECURITY CLASSIFICATION<br>(OF ABSTRACT)                |
| 18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT<br><br>Unlimited availability  |   | 17d. SECURITY CLASSIFICATION<br>(OF TITLES)                  |

titel : Scheepsbewegingen en "Motion Sickness Incidence" (MSI): Voorspellingen van het percentage bewegingszieken op basis van verticale bewegingen  
auteur : Dr. J.E. Bos  
datum : 28 november 1995  
opdrachtnr. : A95/KM/358  
IWP-nr. : 789.3  
rapportnr. : TNO-TM 1995 A-71

Om bij scheepsontwerp te kunnen anticiperen op het functioneren van de bemanning bij ruwe zee, zijn voor de Koninklijke Marine twee in de literatuur reeds beschreven mathematische modellen die het percentage zeezieken berekenen op basis van de bewegingen van dat schip samengevat en in computerprogramma's geïmplementeerd. Op basis van eigen onderzoek wordt aangegeven waar deze modellen tekort schieten en ook hoe deze verbeterd kunnen worden.

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| INHOUD                        | Blz. |
| SAMENVATTING                  | 3    |
| SUMMARY                       | 4    |
| 1 INLEIDING                   | 5    |
| 2 MODEL VOLGENS McCAULEY      | 6    |
| 2.1 Theorie                   | 6    |
| 2.2 Model implementatie       | 8    |
| 2.3 Resultaten                | 9    |
| 3 MODEL VOLGENS GRIFFIN       | 10   |
| 3.1 Theorie                   | 10   |
| 3.2 Model implementatie       | 11   |
| 3.3 Resultaten                | 12   |
| 4 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN  | 13   |
| 4.1 Discussie                 | 13   |
| 4.2 Aanbevelingen             | 14   |
| REFERENTIES                   | 16   |
| BIJLAGE A      Voorbeeld MSI  | 17   |
| BIJLAGE B      Voorbeeld MSDV | 18   |

Rapport nr.: TNO-TM 1995 A-71

Titel: Scheepsbewegingen en "Motion Sickness Incidence" (MSI):  
Voorspellingen van het percentage bewegingszieken op basis  
van verticale bewegingen

Auteurs: Dr. J.E. Bos

Instituut: TNO Technische Menskunde  
Afd: Werkomgeving

Datum: november 1995

DO Opdrachtnummer: A95/KM/358

Nummer in MLTP: 789.3

---

#### SAMENVATTING

Scheepsbewegingen kunnen zeeziekte veroorzaken. Het zijn daarbij vooral de verticale bewegingen met frequenties onder de 1 Hz die een provocatief karakter hebben. In dit rapport wordt een samenvatting en de beschrijving van een computer-implementatie gegeven van een model zoals geformuleerd door McCauley e.a. (1976) en een model volgens Griffin (1990), waarmee het percentage zeezieken berekend kan worden op basis van een gegeven scheepsbewegingsprofiel.

**Ship motions and "Motion Sickness Incidence" (MSI): Estimations of the percentage sick people based on vertical motion**

J.E. Bos

**SUMMARY**

Ship motions can induce seasickness. Especially the vertical movements with frequencies below 1 Hz are very provocative. This report gives a summary and a description of a computer-implementation of a model formulated by McCauley et al. (1976), and a model by Griffin (1990), to predict the percentage of sick people given a motion time history.

## 1 INLEIDING

Bij het normale gaan en staan kan de (gezonde) mens zich probleemloos ten opzichte van de zwaartekracht oriënteren en zijn evenwicht bewaren. Begeeft hij zich op ander terrein, bijvoorbeeld op zee, en ondergaat hij andere bewegingen dan normaal op de wal, dan kunnen problemen ontstaan. Deze problemen variëren van een gestoord houdingsevenwicht tot onwelbevinden, eventueel gepaard gaande met braken (zeeziekte). De mate van het onwelbevinden kan sterk per persoon verschillen. Het percentage mensen dat moet braken wordt de "Motion Sickness Incidence" (*MSI*)<sup>1</sup> genoemd. Het is bekend dat bij verticale bewegingen mensen meer ziek worden dan bij andere bewegingen. Om hiermee bij scheepsontwerp rekening te kunnen houden is in het verleden getracht dit percentage zeezieken te kennen als functie van een gegeven bewegingsprofiel (zie bijvoorbeeld Wertheim e.a., 1995a). Naarmate de trend doorzet dat schepen met steeds minder bemanning worden uitgerust, wordt het steeds belangrijker dat het functioneren van bemanningsleden zo weinig mogelijk gehinderd wordt door de scheepsbewegingen. De beschrijving van de *MSI* als functie van de beweging is het onderwerp van dit rapport. De twee in de literatuur meest genoemde modellen zullen hier behandeld worden. Tevens is van deze modellen bij TNO-TM een computer-programma gemaakt.

Het eerste model komt van McCauley e.a. (1976). Zij hebben in een scheepsbewegingssimulator 619 (mannelijke) proefpersonen blootgesteld aan verticale sinusoïdale bewegingen met RMS-amplitudes variërend van 0.0278 tot 0.555 G en frequenties van 0.083 tot 0.7 Hz, met een duur tot 2 uur. Gekeken werd welk percentage van deze proefpersonen binnen die tijd moest braken. Deze *MSI*-scores bepalen de parameters van een volgens hen plausibel model. Dit model heeft slechts drie input-parameters: de amplitude, de frequentie en de duur van de beweging. Het McCauley-model ligt ten grondslag aan de ISO 2631/3 norm.

Het tweede model is gebaseerd op het werk van Griffin (1990) volgens de "British Standard" 6841. Dit werk beschrijft het welbevinden van de mens onder allerlei vormen van vibratie. Zeeziekte kan dan opgevat worden als een extreme vorm van onwelbevinden bij vibraties met een lage frequentie (0.1–0.5 Hz). Dit model houdt, in tegenstelling tot het model van McCauley e.a., expliciet rekening met de mogelijkheid dat een beweging uit meerdere frequenties bestaat. Net zoals bij McCauley, op wiens werk een deel van zijn model gebaseerd is, verschilt de zeeziektegevoeligheid per frequentie. Griffin gebruikt daarnaast data over het welbevinden van passagiers op veerboten. Verder wordt zijn model verondersteld geldig te zijn voor bewegingen met een duur tot 6 uur. De input van het Griffin-model is dus een compleet verticaal bewegingsprofiel, d.w.z. voor iedere  $t$  in het te onderzoeken tijdsinterval is de amplitude van de verticale beweging gegeven.

Voor de volledigheid zij nog verwezen naar een rapport van de Technische Hogeschool Delft (Vermeij, 1985), over onderzoek en voorspelling van zeeziekte. Vermeij komt in dat rapport tot de conclusie dat vooral een model van Krappinger (1983) en een van Smith (1982) ter voorspelling van de *MSI* mogelijk bruikbaar zijn. Het model van Krappinger is echter op de parameterkeuze na identiek aan het model van McCauley. Het model van Smith

---

<sup>1</sup> Vanwege hun algemeen gebruik wordt in dit rapport een aantal Engelse naamgevingen gehandhaafd.

overlapt dat van Griffin waaraan toegevoegd de gevolgen van mogelijke interacties tussen verschillende frequentie-componenten. Omdat er niet voldoende experimentele gegevens voorhanden zijn om de parameters te schatten die deze interacties kwantificeren, is deze toevoeging op dit moment echter niet bruikbaar.

## 2 MODEL VOLGENS McCAULEY

### 2.1 Theorie

Algemeen wordt aanvaard dat het voornamelijk de verticale bewegingen met frequenties tussen ongeveer 0.1 en 0.7 Hz zijn, die zeeziekte veroorzaken. Verticaal wil hier zeggen parallel aan de zwaartekrachtrichting. Dit wil dus zeggen dat alle andere scheepsbewegingen (de overige twee translaties, de drie rotaties en dompbewegingen trager dan 0.1 Hz en sneller dan 0.7 Hz) verondersteld worden in het geheel geen zeeziekte te veroorzaken. Zowel McCauley als Griffin modelleren dan ook de *MSI* enkel als functie van deze verticale bewegingen.

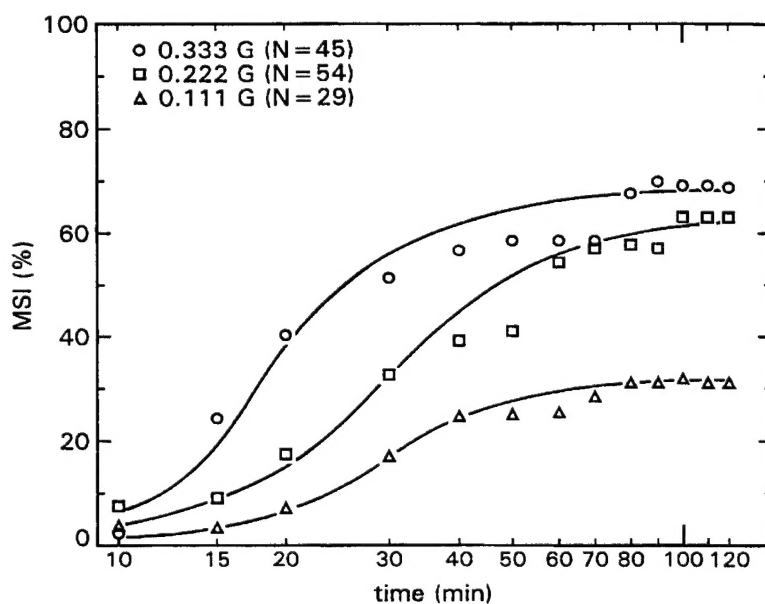


Fig. 1 *MSI* als functie van de tijd bij drie verschillende *G*-waarden (*RMS*), en één vaste frequentie ( $f=0.25$  Hz). Getrokken lijnen zijn modelberekeningen.

Op basis van alle gegevens (het aantal spugers per amplitude per frequentie) verzameld door McCauley e.a. in de bewegingssimulator van het Office of Naval Research/Human Factors Research, Incorporated, Goleta, California, kwamen zij tot de volgende conclusies. Het bleek dat de zeeziektegevoeligheid als functie van de logaritme van de tijd eerst langzaam toeneemt, met een maximale toename bij een zekere (log van de) tijd  $\mu$ , waarna voor grotere  $t$  altijd een verzadiging optreedt (zie Fig. 1).

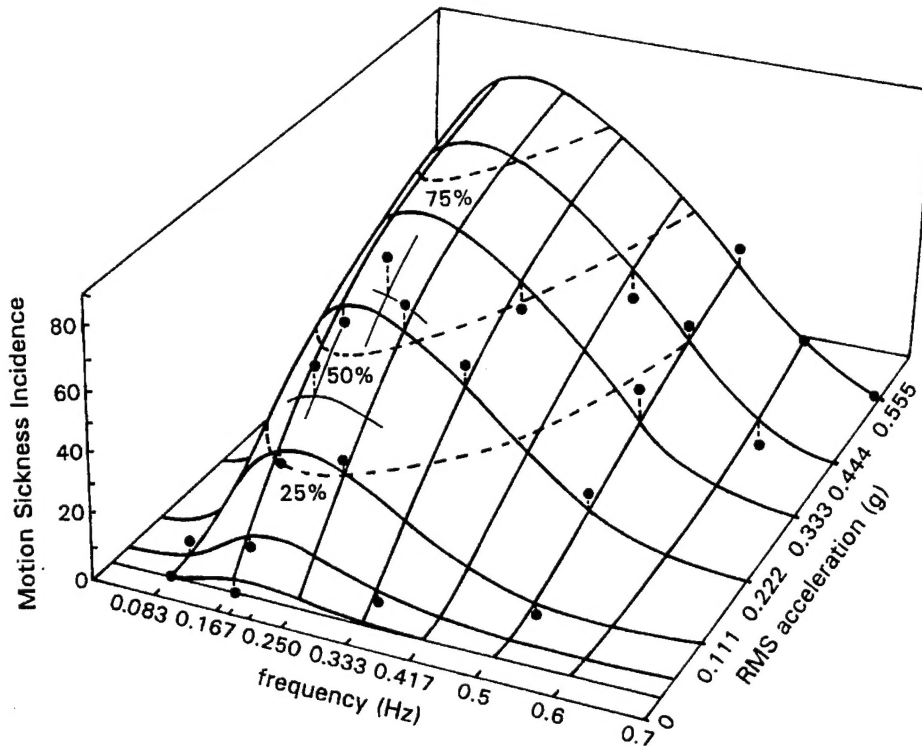


Fig. 2 MSI (%) versus frequentie en stimulus amplitude. Bolletjes geven de meetpunten weer, lijnen de optimale fit door deze punten (zie tekst).

Een soortgelijke afhankelijkheid werd waargenomen voor de aangeboden versnellingen, zij het dat hierbij de versnelling waarbij de maximale toename optreedt afhankelijk bleek te zijn van de stimulusfrequentie ( $f$ ). Deze bevindingen staan grafisch weergegeven in Fig. 2. De MSI is hier steeds het percentage van een groep dat binnen de gegeven duur van twee uur moet overgeven, dan wel de kans dat een individu dit doet. Nadrukkelijk zij vermeld dat de MSI hier dus een cumulatieve maat is, wat wil zeggen dat de MSI het totaal aantal spugers in die gegeven tijd geeft. Om de in Fig. 1 en 2 weergegeven data in één mathematisch model te vatten worden eerst de tijds- en versnellingsafhankelijkheid benaderd met een cumulatieve normale verdeling<sup>2</sup>:

$$MSI \sim \Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (1)$$

met  $z = z_t$  voor de tijdsafhankelijkheid en  $z = z_a$  voor de versnellingsafhankelijkheid:

$$z_t = \frac{\log t - \mu_t}{\sigma_t} \quad \text{en} \quad z_a = \frac{\log a - \mu_a(f)}{p\sigma_a} \quad (2)$$

<sup>2</sup> Citaat uit McCauley e.a. (1976, p. 43): "The genesis of his model has no doubt been influenced by the fondness of one of the authors for the concept of logarithmic responses to physical stimuli, and by his trust in the Central Limit Theorem to cause normal distributions to appear conveniently when needed".

Hierin stelt  $p$  een constante voor zodanig dat de waargenomen  $MSI$  gelijk is aan de voorspelde. Deze  $p$  wordt door McCauley e.a. gegeven door  $p = \sqrt{1-\rho^2}$  waarin  $\rho$  de correlatie tussen waargenomen en voorspelde (log van de) versnelling is waarbij gebräakt wordt. De logaritme is verder die met het grondtal 10. De sigma's geven de breedte aan van het gebied waarin de  $MSI$ -toename het grootst is. Samengevat leidt dit tot:

$$MSI = 100 \Phi(a, t) = \frac{100}{2\pi\sigma_a\sigma_t\sqrt{1-\rho^2}} \int_{-\infty}^{\log a} \int_{-\infty}^{\log t} e^{\frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left[ \left( \frac{x-\mu_a(f)}{\sigma_a} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{x-\mu_a(f)}{\sigma_a} \right) \left( \frac{y-\mu_t}{\sigma_t} \right) + \left( \frac{y-\mu_t}{\sigma_t} \right)^2 \right]} dy dx \quad (3)$$

De afhankelijkheid van de versnelling waarbij de  $MSI$  maximaal toeneemt als functie van de frequentie is door McCauley e.a. als volgt nader gespecificeerd:

$$\mu_a(f) = k_1 + k_2 \log f + k_3 \log^2 f \quad (4)$$

De in (3) gegeven bivariate verdeling is een lastige functie (niet te vinden in standaard tabellen bijvoorbeeld). Wanneer we echter aannemen dat  $z_a$  en  $z_t$  statistisch onafhankelijk van elkaar zijn, dan mag de dubbele integraal in (3) gesplitst worden naar het produkt van de twee afzonderlijke integralen, waarbij de substitutie

$$z_t' = \frac{z_t - \rho z_a}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (5)$$

het probleem met de kruisterm in de exponent van vergelijking 3 oplost. Samengevat geeft dit nu:

$$MSI = 100 \Phi(z_a) \Phi(z_t') \quad (6)$$

Met behulp van de bulk aan data en het bovengegeven model zijn door McCauley e.a. de parameters  $k_1$ ,  $k_2$  en  $k_3$  voor de bepaling van  $\mu_a$ ,  $\sigma_a$ ,  $\mu_t$ ,  $\sigma_t$  en  $\rho$  geschat. Het resultaat staat in Tabel I gegeven. Met deze parameters wijkt het model niet meer dan 3.8% af van de werkelijk gemeten data (sd=2.4%).

Tabel I McCauley model-parameters.

|  |                   |
|--|-------------------|
| $\mu_a = 0.87 + 4.36 \log f + 2.73 \log^2 f$ | $\mu_t = 1.46$    |
| $\sigma_a = 0.47$                            | $\sigma_t = 0.76$ |
| $\rho = -0.75$                               |                   |

## 2.2 Model implementatie

Met behulp van vergelijkingen 2 en 4-7 en de hulp van een tabellenboek om  $\Phi(z)$  [=  $1-\Phi(-z)$ ] te bepalen, kan de  $MSI$  (handmatig) berekend worden. Voor de functie  $\Phi$  bestaan echter goede benaderingen die met een computer eenvoudig zijn te berekenen. Dus kan een eenvoudig computerprogramma een gewenst alternatief zijn voor de handmatige

berekening met gebruikmaking van een tabellenboek. McCauley e.a. geven in hun rapport een voorbeeld van zo'n programma, welke met de toevoeging van de in- en output-voorziening in FORTRAN voor een MS-DOS machine door TNO-TM gerealiseerd is. Een voorbeeld van de vragen en resultaten zoals dit programma die stelt en weergeeft staat in Bijlage A. Met nadruk zij gewezen op dat waar Griffin (1990) SI-eenheden gebruikt, McCauley e.a. dat niet doen. In de geïmplementeerde versie van het McCauley-model pas ik me hierbij aan, en dient de versnelling in G-eenheden te worden opgegeven, de tijd in minuten en de frequentie gewoon in Hz.

### 2.3 Resultaten

Met een aangepaste versie van bovenbeschreven programma is voor ieder interval van  $0.1 \leq F \leq 0.5$  Hz,  $0.3 \leq A \leq 5$  m/s<sup>2</sup> en  $20 \leq T \leq 120$  minuten de *MSI* berekend bij drie waarden voor de overige twee variabelen. Deze resultaten staan weergegeven in Fig. 3.

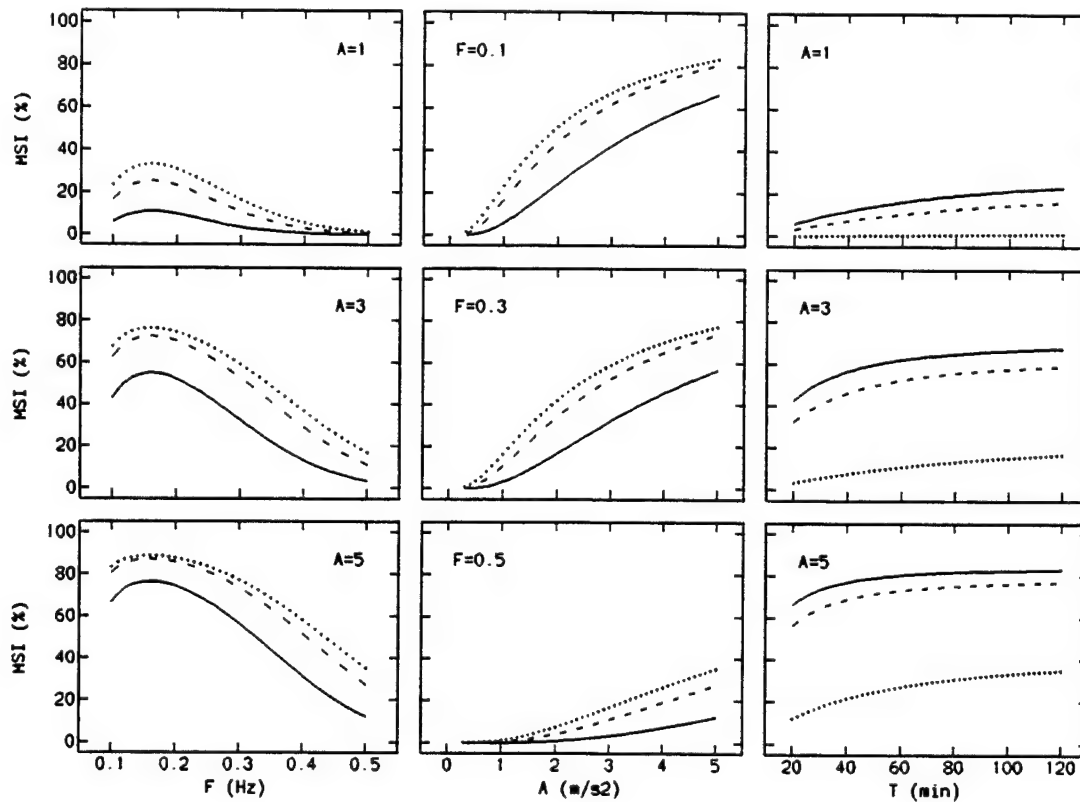


Fig. 3 *MSI* versus frequentie (F), amplitude (A) en tijd (T). Hele lijnen representeren T=20 min dan wel F=0.1 Hz, onderbroken lijnen T=60 min of F=0.3 Hz en stippellijnen T=120 min of F=0.5 Hz.

### 3 MODEL VOLGENS GRIFFIN

#### 3.1 Theorie

Om het percentage zeezieken te voorspellen gebruikt Griffin de term "Vomiting Incidence" (VI). Met deze VI wordt echter precies hetzelfde bedoeld als met de term MSI. Om een duidelijk onderscheid aan te brengen tussen de resultaten van de verschillende modellen zal hier de term VI expliciet gekoppeld worden aan het model van Griffin. Griffin onderscheidt, evenals McCauley drie grootheden die van belang zijn voor het model: de mate en de frequentie(s) van de beweging, en de duur daarvan. Eventueel kan ook de gevoeligheid van de betrokkenen als parameter in zijn model worden meegenomen.

*Mate van beweging:* Hiervoor neemt Griffin de versnelling ( $a$  in  $\text{m/s}^2$ ). Deze maat is evenredig met de kracht die het lichaam ondervindt door de beweging.

*Frequentie(s) van de beweging:* Het is bekend dat mensen bij bewegingen trager dan 0.1 Hz en sneller dan 0.5 Hz nauwelijks of niet bewegingsziek worden. De grootste gevoeligheid treedt op bij bewegingen met een frequentie  $f$  iets onder de 0.2 Hz. Griffin houdt met deze frequentieafhankelijkheid rekening door de mate van beweging te wegen met een factor  $w$  die als volgt afhangt van de frequentie:

$$\begin{aligned} w &= \frac{f}{0.125} && \text{voor} && 0.1 \leq f < 0.125 \\ w &= 1.0 && \text{voor} && 0.125 \leq f < 0.25 \\ w &= \left(\frac{0.25}{f}\right)^2 && \text{voor} && 0.25 \leq f \leq 0.5 \\ w &= 0 && \text{elders} && \end{aligned} \quad (7)$$

Niet de versnelling  $a$ , maar zijn gewogen pendant  $a_w = w(f) \cdot a$  dient nu verder in de berekeningen betrokken te worden.

*Duur van de beweging:* De kans dat iemand moet overgeven onder invloed van een beweging, neemt (uiteraard) toe met de duur  $T$  van die beweging. Binnen de door Griffin onderzochte perioden die variëren van 20 minuten tot 6 uur, is gebleken dat de MSI niet recht evenredig toeneemt met de tijd, maar na enkele uren afvlakt.

Griffin definieert nu allereerst een dosiswaarde, de "Motion Sickness Dose Value", waarbij het cumulatieve effect tot uiting komt:

$$MSDV = \left( \int_0^T a_w^2 dt \right)^{1/2} \quad (8)$$

Door het kwadrateren van de versnelling wordt voorkomen dat bij het bepalen van het cumulatief effect opvolgende negatieve en positieve versnellingen elkaar teniet doen. Het nemen van de wortel uit de integraal (het cumulatieve effect) zorgt  n voor een uiteindelijke evenredigheid tussen MSDV en versnelling  n voor een verzadiging in de afhankelijkheid met de tijdsduur zoals uit experimenten is gebleken.

Voor een enkelvoudige sinusoidale beweging kan vergelijking 2 vereenvoudigd worden tot:

$$MSDV = w \cdot a_{rms} \cdot t^{1/2} = w \cdot a_{max} \cdot \sqrt{\frac{t}{2}} \quad (9)$$

Op basis van deze dosiswaarde wordt de *VI* berekend met vergelijking 10. De *VI* is ook hier weer een cumulatieve maat: het totale percentage van een groep dat binnen de gegeven duur moet overgeven, dan wel de kans dat een individu dit doet.

$$VI = K \cdot MSDV \quad (10)$$

**Gevoeligheid:** Met de waarde *K* kan de gevoeligheid van een betrokken groep aangegeven worden. Gemiddeld heeft voor een normale burgerpopulatie *K* volgens Griffin een waarde van 1/3. Griffin schrijft vrouwen een 5/3 maal grotere gevoeligheid toe dan mannen<sup>3</sup>. Wordt hier expliciet mee rekening gehouden, dan dient *K* de waarde 0.4 respectievelijk 0.25 te hebben.

### 3.2 Model implementatie

Voor sinusoidale stimulatie kan de *VI* met vergelijkingen 9 en 10 eenvoudig berekend worden. Is het bewegingsprofiel samengesteld uit meerdere frequenties, zoals bij reële scheepsbewegingen veelal het geval is, dan moet voor iedere frequentie-component de amplitude gewogen worden met (7) waarna pas de integraal (8) berekend mag worden. Dit is werk voor computers.

Gegeven een equidistant bemonsterde tijdreeks van versnellingen (in m/s<sup>2</sup>), dan kan met een FFT-algoritme snel en efficiënt per frequentie-component de versnelling berekend worden. Per frequentie kan dan de weging volgens (7) worden uitgevoerd. Na terugtransformatie (inverse FFT) is dan een bewegingsprofiel gegeven waarin de versnellingen gewogen zijn met hun frequentie-afhankelijke weegfactor. De integraal over deze aangepaste tijdreeks kan benaderd worden door de cumulatieve amplitude (in het kwadraat) maal de tijd te berekenen. Door toepassing van de FFT wordt echter wel een beperking aan de data opgelegd, namelijk dat het aantal data-punten een macht van twee dient te zijn. Wanneer dit niet zo is, moeten er dus data-punten buiten beschouwing blijven, of punten worden toegevoegd. Dit laatste kan het eenvoudigst door de data met "nullen" (een interval met versnelling nul) aan te vullen. Bij toepassing van deze FFT op een beperkt computergeheugen ontstaat een tweede probleem wanneer de te analyseren data-set te groot is. In dit laatste geval kan een equidistante sub-set genomen worden door sub-sampelen (het trekken van een selecte steekproef), of door het botweg weglaten van de laatste sampels (duur inkorten). Door het sub-sampelen kunnen hogere frequenties ten onrechte worden weggelaten en kunnen aliasing effecten optreden (oorspronkelijk niet aanwezige frequenties werken wel door in de analyse). Door het inkorten van de duur wordt op triviale wijze de *VI* verkleind.

---

<sup>3</sup> Volgens de ISO 2631/3 norm zijn vrouwen slechts 5% gevoeliger voor zeeziekte dan mannen.

Een FORTRAN-programma voor MS-DOS dat de *MSDV* en *VI* berekent zoals hier beschreven, is inmiddels gerealiseerd. Een voorbeeld van de vragen en resultaten zoals dit programma die stelt en weergeeft staat in Bijlage B. Het input-file dient hierbij een enkelkoloms ASCII-file te zijn met equidistant bemonsterde data-punten die de versnelling in  $\text{m/s}^2$  geven.

### 3.3 Resultaten

Wanneer de beweging sinusoidaal is, kan met vergelijking 9 de *VI* berekend worden. Zo is analoog aan de berekeningen aan het McCauley-model ook hier voor ieder interval van  $0.1 \leq F \leq 0.5 \text{ Hz}$ ,  $0.3 \leq A \leq 5 \text{ m/s}^2$  en  $20 \leq T \leq 120 \text{ minuten}$  de *VI* berekend. Deze resultaten staan weergegeven in Fig. 4.

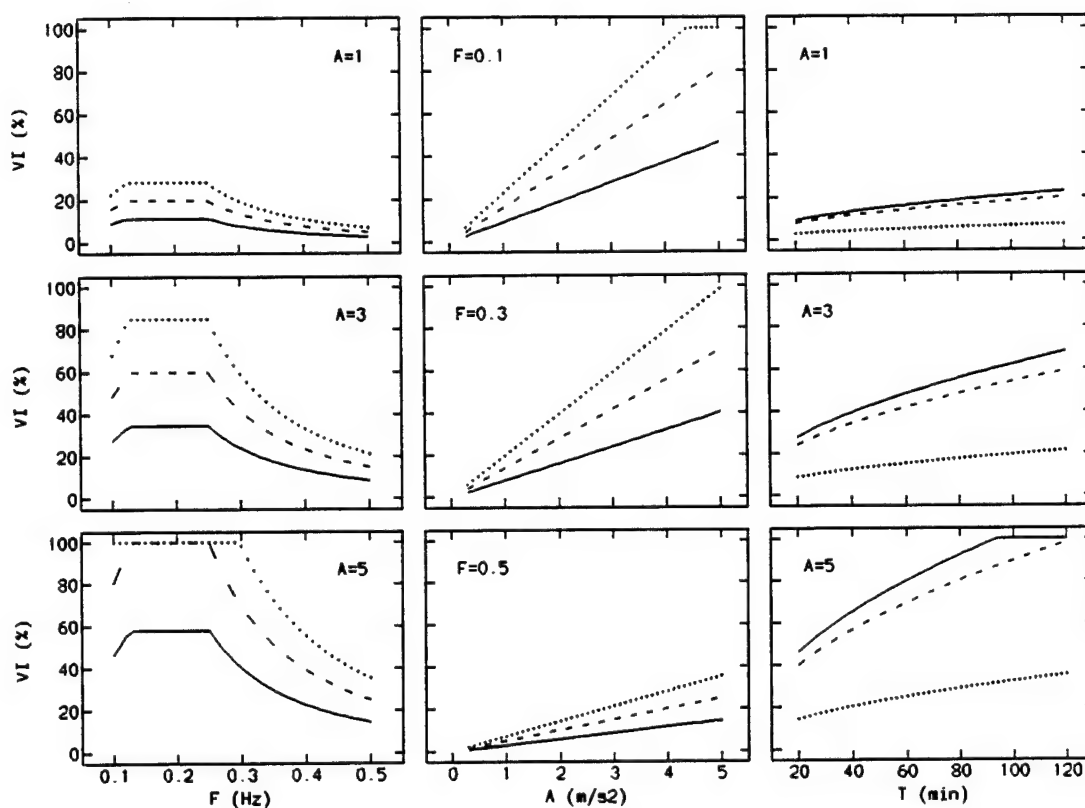


Fig. 4 *VI* versus frequentie (F), amplitude (A) en tijd (T). Hele lijnen representeren  $T=20$  min dan wel  $F=0.1 \text{ Hz}$ , onderbroken lijnen  $T=60$  min of  $F=0.3 \text{ Hz}$  en stippellijnen  $T=120$  min of  $F=0.5 \text{ Hz}$ .

## 4 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

### 4.1 Discussie

Het grote verschil tussen het McCauley- en het Griffin-model is dat McCauley e.a. de *MSI* voorspellen enkel voor sinusoidale bewegingen, terwijl Griffin dat ook doet voor complexe bewegingen. Beide modellen gelden verder enkel voor verticale bewegingen. Het McCauley-model is geverifieerd voor frequenties tussen 0.08 en 0.7 Hz, het Griffin-model voor frequenties tussen 0.1 en 0.5 Hz. Voor het gebied waarin beide modellen geldig zouden zijn is een vergelijking gemaakt, waarvan de resultaten in Fig. 5 staan weergegeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er grote verschillen (tot ongeveer 20%) bestaan tussen beide modellen. De standaarddeviatie van het absolute verschil tussen beide methodes ligt echter in de buurt van de 5%, hetgeen in het licht van de grote verschillen tussen mensen onderling niet dramatisch is.

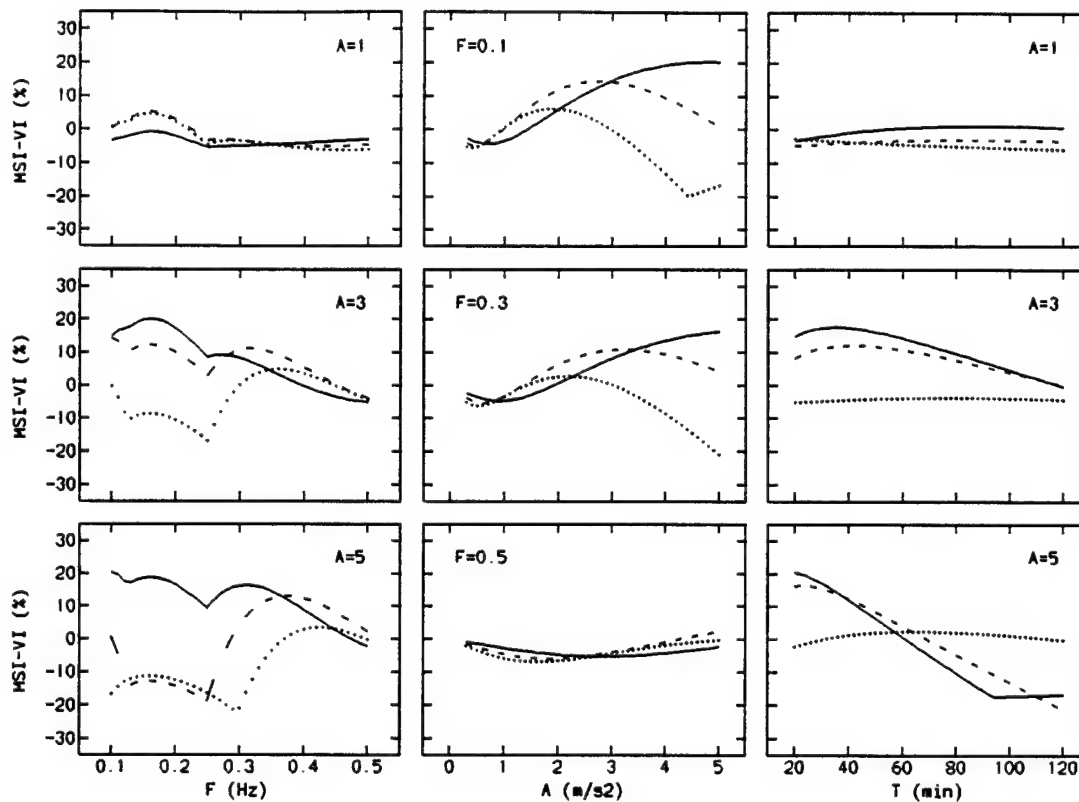


Fig. 5 Verschillen tussen het McCauley- en Griffin-model. Hele lijnen representeren  $T=20$  min dan wel  $F=0.1$  Hz, onderbroken lijnen  $T=60$  min of  $F=0.3$  Hz en stippellijnen  $T=120$  min of  $F=0.5$  Hz.

Het voordeel van het Griffin-model is, zoals genoemd, dat die het aantal zeezieken voorspelt op basis van bewegingen die meerdere frequenties bevatten. Dit is vooral voor kleinere schepen van belang. Het Griffin-model heeft daarnaast echter een aantal niet te verwaarlozen nadelen. Hierbij zij op voorhand aangetekend dat dit door Griffin zelf al wordt onderkend.

Zijn werk is vooral gebaseerd op onderzoek bij passagiers op (grote) veerboten. Deze passagiers stellen zich i.h.a. passief op, met zicht op buiten, tijdens relatief kort durende overtochten. Dit is een groot verschil met scheepvarend marinepersoneel dat zich ook actief gedraagt, zelfs benedende, en vaak meerdere dagen aaneensluitend op zee is, maar waarschijnlijk minder gevoelig is voor zeeziekte.

Wanneer voor welk model gekozen dient te worden (Griffin of McCauley) is niet precies te zeggen. De beste vuistregel lijkt mij dat wanneer een *MSI*-voorspelling gewenst is voor een enkelvoudig sinusoidale beweging, of een duidelijk unimodale beweging met een nauwe frequentie-band, McCauley de voorkeur verdient. Dit is vooral ingegeven door de bevindingen van Colwell (1994) die suggereert dat het model van McCauley e.a. betere (d.w.z. meer met de door Colwell bemeaten werkelijkheid overeenstemmende) resultaten geeft dan dat van Griffin. Op basis van eigen *MSI*-data vergaard op zee vindt Colwell dat het Griffin-model zijn data voorspelt met een fout van gemiddeld 4% ( $sd=9\%$ ), en dat het McCauley-model dat doet met gemiddeld een fout van 3% ( $sd=7\%$ ). Een groter nadeel van het Griffin-model vindt hij echter dat voor een langere duur en grote amplitude de *MSI* ( $=VI$ ) significant wordt overschat (zie ook Fig. 5). Slechts wanneer het bewegingsprofiel complex is met meer dan één duidelijk overheersende frequentie, dient het Griffin-model te worden toegepast.

Wertheim e.a. (1995a) hebben al aangegeven dat er gegronde redenen zijn om te twijfelen aan een model waarin alleen de domp-component een rol speelt. Zij geven een voorbeeld van 33% *MSI* in een experiment waar Griffin 6% voorspelt (Wertheim e.a., 1995a). Bij een groep als niet-zeeziektegevoelig bekend staande proefpersonen vinden zij zelfs 50% *MSI* waar Griffin 3% voorspelt (Wertheim e.a., 1995b). Zij bevelen dan ook aan een model te maken dat naast de verticale bewegingen ook het slingeren en stampen, en indien mogelijk ook de hoofdbewegingen betreft bij de *MSI*-berekening.

Een laatst te noemen tekort van beide modellen is de beperkte geldigheidsduur (tot 2 uur voor McCauley, 20 minuten tot 6 uur voor Griffin). Bij de marine zijn juist langer durende vaarten gebruikelijk, en het is bekend dat er in de loop van dagen gewenning ontstaat aan de opgedrongen beweging. Wanneer de *MSI* voor de opeenvolgende dagen opnieuw wordt bepaald, kan deze zelfs tot nul reduceren (Colwell, 1994).

## 4.2 Aanbevelingen

Om een nadere invulling te geven aan een uitbreiding van een model ter voorspelling van de *MSI* met slinger-, stamp- en eventueel hoofdbewegingen, is het volgende vermeldenswaard. Uit onderzoek uitgevoerd voor de Koninklijke Luchtmacht is bij de programmagroep Evenwicht & Oriëntatie bekend dat het zgn. Coriolis-effect verband houdt met de mate van gevoeligheid voor luchtziekte (Bles e.a., 1994). Hierbij maakt een persoon terwijl hij draait (bijvoorbeeld op een draaistoel) een kanteling met het hoofd. Dit geeft onaangename draaisensaties van bewegingen die in werkelijkheid niet optreden, hetgeen het Coriolis-effect genoemd wordt. Het effect is soms zo hevig dat het maken van de hoofdbeweging al direct aanzet tot braken. Bij gecombineerde scheeps- en hoofdbewegingen zal de mate van dit Coriolis-effect gering zijn. Het is echter de overtuiging van de auteur van dit rapport dat

analoog aan vergelijking 8 ook hierbij een cumulatie optreedt, die uiteindelijk tot zeeziekte kan leiden. Het ligt dan ook voor de hand *MSI* mede te berekenen op basis van een soort cumulatief Coriolis-effect.

Zoals ook al aangegeven door Wertheim e.a. (1995a) kan *MSI* mogelijk beter voorspeld worden m.b.v. modelstudies op basis van kennis van het evenwichtssysteem (fundamentele aanpak), dan op basis van kennis van *MSI*-scores bij verschillende bewegingen alleen (empirisch/fenomenologisch). Een ruimtelijk oriëntatiemodel op vestibulaire grondslag dat door de programmagroep Evenwicht & Oriëntatie voor de Koninklijke Luchtmacht is gemaakt zou daarbij goed als basis kunnen dienen (Bles & Bos, 1994; Bos & Bles, 1995). Naast een "oriëntatie"-output kan dit model worden uitgebreid met een "onwelbevinden"-output. Parameterkeuzes worden hierbij dan bepaald door bekende *MSI*-scores zodat dit model dat van McCauley en Griffin overlapt.

## REFERENTIES

- Bles, W. & Bos, J.E. (1994). *Een ruimtelijk oriëntatiemodel*. Rapport TNO-TM 1994 A-58, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Bles, W., de Graaf, B. & Bos, J.E. (1994). Vestibular examination in pilots susceptible to motion sickness. AGARD CP 553: *The clinical basis for aeromedical decision making*, 15/1-15/8.
- Bos, J.E. & Bles, W. (1995). *Simulaties met het ruimtelijk oriëntatiemodel: mathematische invulling en numerieke evaluatie*. Rapport TNO-TM 1995 A-30, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Colwell, J.L. (1994). *Motion sickness habituation in the naval environment*. DREA Technical Memorandum 94/211, Dartmouth, Canada: Defence Research Establishment Atlantic.
- Griffin, M.J. (1990). *Handbook of Human Vibration*. London: Academic Press.
- Krappinger, O. (1983). Beurteilung des Einflusses von Schiffsbewegungen auf die Besatzung. *Schiffstechnik*, 30, 95-115.
- McCauley, M.E., Royal, J.W., Wylie, C.D., O'Hanlon, J.F. & Mackie, R.R. (1976). *Motion sickness incidence: exploratory studies of habituation, pitch and roll, and the refinement of a mathematical model*. Technical Report 1733-2, Goleta, CA: Human Factors Research Inc.
- Smith, D.E. (1982). Prediction of motion sickness incidence: A statistical examination of three approaches. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 53, 162-165.
- Vermeij, P. (1985). *Onderzoek en voorspelling van zeeziekte*. Rapport 662-S, Technische Hogeschool Delft, Afd. Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydrodynamica.
- Wertheim, A.H., Wientjes, C.J.E., Bles, W. & Bos, J.E. (1995a). *Motion sickness studies in the TNO-TM Ship Motion Simulator (SMS)*. Rapport TNO-TM 1995 A-57, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Wertheim, A.H., Heus, R. & Kistemaker, J.A. (1995b). *Human energy expenditure, task performance and sea sickness during simulated ship movements*. Rapport TNO-TM 1995 C-29, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Soesterberg, 28 november 1995



Dr. J.E. Bos

## BIJLAGE A      Voorbeeld MSI

Hieronder volgt een voorbeeld van de output van het programma MSI, versie 4-9-95, zoals dat ook wordt weergegeven op het beeldscherm. Antwoorden (input) volgen na een ":", het resultaat (output) volgt na de "=".

---

MSI versie 4-9-95.

Dit programma berekent de "Motion Sickness Incidence" volgens McCauley e.a., Human Factors Research, Inc. Techn. Rep. 1733-2 (1976).

De berekende MSI (%) geldt voor verticale sinusoidale bewegingen met een RMS-amplitude tussen 0.0278 en 0.555 G, frequenties tussen 0.083 en 0.7 Hz en een duur tot 2 uur.

RMS-Versnelling (G) : .2  
Frequentie (Hz) : .3  
Duur (minuten) : 120

Percentage "spugers" = 41.1

EINDE MSI

---

## BIJLAGE B      Voorbeeld MSDV

Hieronder volgt een voorbeeld van de output van het programma MSDV, versie 15-2-95, zoals dat ook wordt weergegeven op het beeldscherm. Antwoorden (input) volgen na een ":", resultaten (output) volgen na een "=", de rest is begeleidende tekst.

---

MSDV versie 15-2-95.

Dit programma berekent de "Motion Sickness Dose Value" volgens de British Standard 6841, zoals beschreven in: Griffin MJ (1990) Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.

De berekende schatting geldt voor verticale bewegingen met frequenties tussen 0.1 en 0.5 Hz en een duur tussen de 20 minuten en 6 uur.

```

Input file met z-versnellingen (m/s2)      : test
Sample-interval in sec.                     : 1.0
Inlezen data ...
Er zijn meer data-punten dan toegestaan.
Een selecte steekproef nemen (1),
of de duur inkorten (2)                     : 1
Inlezen data ...
Er zijn 9216 data-punten,
waarvan 4608 gebruikt met een
duur van 2h 33min 36s.
# Gewogen frequenties = 4096.
Frequentie stapgrootte = .610E-4 Hz.
Signaal frequentie    < .250E+0 Hz.
Rekenen ...
Motion Sickness Dose Value (MSDV)           = 2.6
Percentage "spugers"                         = .9

```

EINDE MSDV

---

## VERZENDLIJST

1. Directeur M&P DO
2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie
3. {  
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL  
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
4. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu  
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
5. {  
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
- 6, 7, 8. Hoofd van het Wetensch. en Techn. Doc.- en Inform.  
Centrum voor de Krijgsmacht
9. Ir. E.M. Krikke, Hoofd sie Hydromechanica, Dienst Materieel Koninklijke Marine  
Afd. Scheepsbouw, Bureau Wetenschap. Zaken, Den Haag

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door tussenkomst van de HWOs of de DWO.